



ПО СТРАНИЦАМ ЖУРНАЛА «WELDING JOURNAL», 2009, № 9, 10



ИСКЛЮЧЕНИЕ ТРЕЩИН ПРИ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКЕ СУПЕРСПЛАВА ALVAC 718PLUS (№ 9)

Alvac 718Plus представляет собой новый упрочненный суперсплав на никелевой основе, предназначенный для расширения температурного интервала эксплуатации изделий, изготовленных из широко известного сплава Inconel 718, прочность которого снижается при температуре эксплуатации свыше 650 °С из-за неустойчивости основной упрочняющей γ' -фазы.

Проведенные ранее исследования показали, что при электронно-лучевой сварке сплава Inconel 718 возможно появление трещин в зоне термического влияния, что характерно для многих суперсплавов на никелевой основе. Кроме того, оказалось, что процесс образования трещин при электронно-лучевой сварке можно существенно ограничить, или даже полностью предотвратить его развитие путем использования соответствующей предварительной термообработки зоны соединения.

В связи с этим целью проведенных исследований является выявление влияния предварительной термообработки на процесс возникновения трещин в зоне термического влияния при электронно-лучевой сварке суперсплава Alvac 718Plus.

Методика проведения исследований включала предварительную термообработку образцов сплава размером 12×12×100 мм, сварку фокусированным лазерным лучом (при следующих параметрах сварки: анодное напряжение 44 кВ, ток луча 79 мА, скорость сварки 152 см/мин), разрезку образцов поперек сварного шва на станках электроискро-

вой резки, полировку по стандартной методике и электролитическое травление в 10 %-й шабелевой кислоте в течение 5 с при напряжении 6 В.

Микроструктуру поперечного сечения сварных образцов изучали с помощью оптического микроскопа и сканирующего электронного микроскопа «JEOL 5900» как в режиме отражения вторичных электронов, так и в режиме фиксирования обратно-рассеянных электронов.

Чувствительность металла к растрескиванию оценивали путем измерения общей длины трещин, выявляемых в восьми участках каждого микрошлифа сварного образца.

Предварительную термообработку образцов проводили при трех вариантах изменения температуры (950, 1050 и 1150 °С) и при трех вариантах охлаждения (в ледяной воде со скоростью 500 °С/с; на воздухе со скоростью 25 °С/с и вместе с печью со скоростью 0,25 °С/с).

Распределение среднего размера зерен металла в зависимости от температуры предварительной термообработки представлено на рис. 1.

Влияние параметров предварительной термообработки на восприимчивость металла к растрескиванию представлено на рис. 2.

Дальнейшие исследования показали, что не менее существенное влияние на процесс образования трещин в зоне термического влияния при сварке сплава 718Plus оказывает концентрация бора. В связи с этим для повышения свариваемос-

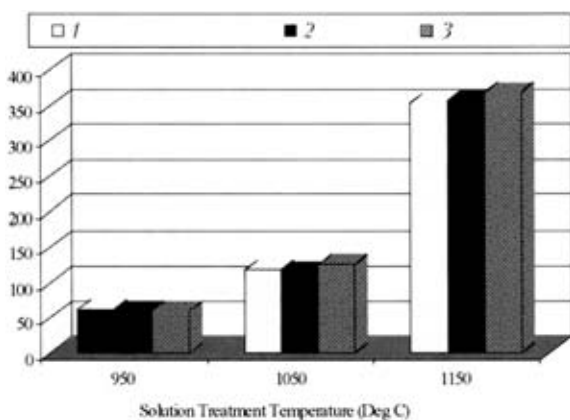


Рис. 1. Температура термообработки (°С): 1 — закалка образцов в воде ледяной температуры; 2 — охлаждение на воздухе; 3 — охлаждение вместе с печью

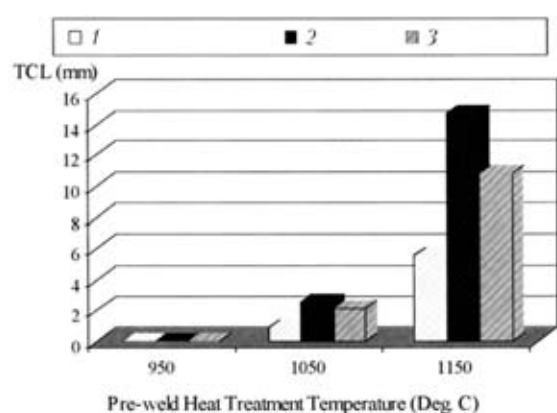


Рис. 2. Влияние параметров предварительной термообработки на общую длину трещин в зоне термического влияния: 1–3 — то же, что и на рис. 1



ти этого сплава концентрация бора должна быть на минимальном уровне.

Проведение данных исследований позволило выявить взаимосвязь появления трещин с выделением бора по границам зерен свариваемого металла и с размером кристалличес-

ких зерен. Показано, что эти два фактора (сегрегация бора и величина кристаллических зерен) зависят от параметров предварительной термической обработки и при соответствующем выборе этих параметров появляется возможность устранения появления трещин в зоне сварного соединения.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛА В ЗОНЕ ТЕРМИЧЕСКОГО ВЛИЯНИЯ МЕТОДОМ ИСПЫТАНИЙ НА МИКРОПРОКОЛ (№ 9)

Метод испытания металлов микропроколом позволяет оценивать основные механические свойства любых материалов (пределы текучести и прочности, относительное удлинение, энергию разрушения и ударную вязкость металлов). Особенно важно иметь информацию об этих свойствах металла непосредственно в зоне термического влияния, где появление микроструктур с высокой твердостью и хрупкостью во многих случаях определяет прочность сварного соединения.

Этот метод можно отнести к категории методов контроля механических свойств, близких к неразрушающим испытаниям из-за очень малых размеров образцов (10×10 мм) толщиной 0,5 мм, вырезаемых из испытуемого металла на ус-

тановках электроискрового резания. Однако в отличие от известных методов неразрушающего контроля, основанных на косвенных измерениях механических свойств, метод микропрокола позволяет проводить непосредственные измерения этих параметров.

Схема устройства для реализации метода испытаний микропроколом представлена на рис. 1.

Типичные зависимости деформации образца от прилагаемой нагрузки, регистрируемые при этом методе испытаний, представлены на рис. 2.

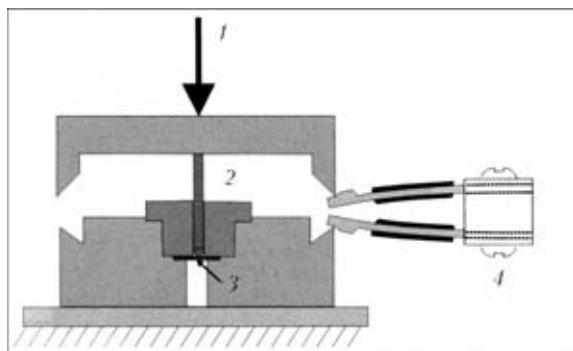


Рис. 1. Схема устройства для реализации метода испытаний на микропрокол: 1 — усилие, прилагаемое установкой для испытаний; 2 — пуансон; 3 — образец испытуемого металла; 4 — прибор регистрации линейных деформаций

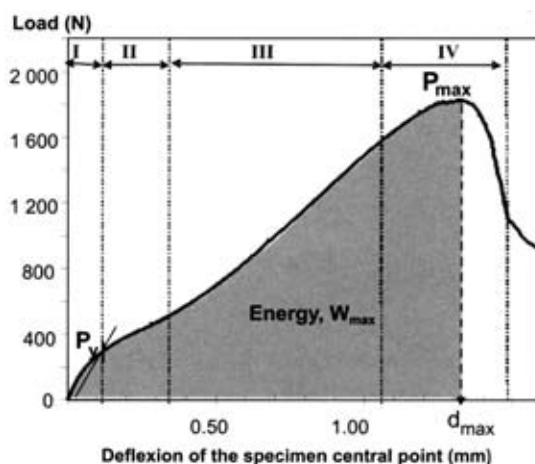


Рис. 2. Зависимость деформации образца от нагрузки при испытаниях на микропрокол

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ СВАРКИ ДВУХФАЗНЫХ СТАЛЕЙ (№ 10)

Процесс постоянного совершенствования качества высокопрочных сталей вызывает необходимость в соответствующем совершенствовании способов их соединения. К известным способам соединения концов стальной ленты при изготовлении стального проката из высокопрочных сталей или при ее последующей обработке (травление, цинкование) относится дуговая сварка в инертных или в активных газах, лазерная сварка (для толщин металла менее 1 мм), однако наиболее широко применяют стыковую сварку оплавлением и шовную сварку сопротивлением.

К проблемам сварки концов металлической полосы из высокопрочных сталей относятся затруднения при разрезке стали высокой твердости, повышенные зазоры при стыковке торцов перед сваркой, склонность к разрыву листа в процессе проката из-за повышения твердости в зоне соединения и т. п.

Способ высокочастотной сварки, который относится к процессам сварки в твердой фазе, считается наиболее перспективным в связи с известными недостатками конкурирующих способов: сварки сопротивлением (низкая скорость сварки, применение лишь для металлов малой толщины) и сварки оплавлением (сложность контроля параметров процесса, неравномерность плавления по ширине полосы, скручивание торцов полосы).

Целью проведенных исследований является выявление взаимосвязи между параметрами термического воздействия

импульсного высокочастотного нагрева и качеством соединения высокопрочных сталей, а также оценка возможности использования результатов данных исследований для реализации в производственных условиях.

В данной работе использовали образцы размером 1,6×44×89 мм, которые после фиксации в алюминиевых губках нагревали водоохлаждаемым индуктором от источника высокочастотного тока с максимальной мощностью 100 кВт в интервале частот 250...400 кГц. Для исключения влияния на качество сварных соединений воздушной среды сварку проводили в камере, заполненной аргоном.

К основным особенностям экспериментального и компьютерного моделирования условий высокочастотной сварки, отличающихся от условий способов, широко применяемых в промышленности, например, при сварке труб, относятся следующие: 1) скоротечность процесса, исключающего установление стабильных параметров сварки (время нагрева не более 4 с); 2) четкое управление перемещением торцов свариваемых полос с исходной величиной зазора между торцами свариваемых образцов 1 мм (не зависящим от скорости сварки или угла смыкания металла при изготовлении прямошовных труб); 3) возможность изменения частоты индукционного нагрева в пределах 250...400 кГц и использование современных средств управления мощностью источника питания в пределах 25...100 кВт.



**ИЗМЕНЕНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА НА ГРАНИЦЕ СВАРНОГО ШВА
В ОБРАЗЦАХ НИЗКОЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ (№ 10)**

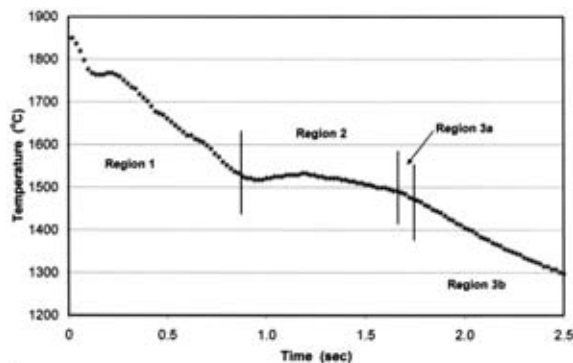
Исследования химических и микроструктурных градиентов на границе сварного шва, возникающих при различных способах сварки (автоматической сварке под флюсом, ручной сварке в защитных газах, автоматической сварке в инертной атмосфере), были проведены с целью выявления их влияния на стойкость металла сварного шва к хрупкому разрушению.

В качестве объекта исследований использована низкоуглеродистая сталь А508 (по классификации ASTM), в состав которой, кроме железа, входят следующие легирующие элементы, мас. %: 0,20 С; 3,4 Ni; 1,75 Cr; 0,55 Mo; 0,25 Mn. Используемый для сварки этой марки стали присадочный материал S3NiMo1 содержит легирующие элементы в следующем количестве: 0,10 С; 0,95 Ni; 0,1 Cr; 0,5 Mo; 1,4 Mn; 0,2 Si. Таким образом, в присадочном материале меньше никеля и хрома, но больше марганца, чем в основном металле.

Эти различия химического состава основного и присадочного металлов приводят к возникновению сложных микрхимических реакций на границе сварного шва, где высокая скорость диффузии элементов в зону термического влияния, а конвективному перемешиванию металла препятствует быстрое затвердевание металла сварного шва. Причем процесс массопереноса во время затвердевания и охлаждения металла сварного шва резко ограничен во времени (не более 5 с).

Результаты исследований указывают на наличие процесса массопереноса никеля из основного металла в сварной шов, и на встречный перенос марганца во время затвердевания металла сварного шва и вблизи момента формирования прослойки δ-феррита между металлом сварного шва и зоной термического влияния. Молибден почти не участвует в массопереносе из-за приблизительно равной его концентрации как в основном металле, так и в металле сварного шва.

По сравнению со способами автоматической и ручной дуговой сварки в защитных газах способ автоматической



Процесс в МШ	Процесс в ЗТВ
1. Перегретый МШ, контактирует с ОМ	Теплота дуги расплавляет ОМ и формирует шов
2. Затвердевание МШ	Диффузия и рост зерен аустенита в ЗТВ
3. Охлаждение МШ, фазовые превращения	а: охлаждение металла через прослойку δ-феррита б: то же, через прослойку γ-аустенита

Распределение температуры в период затвердевания сварного шва при автоматической дуговой сварке под флюсом

дуговой сварки вольфрамовым электродом менее подвержен указанным выше явлениям, в связи со снижением тепловложения в процессе сварки и сокращения времени пребывания металла при температуре плавления.

**ПАЙКА СЕРЕБРА С АЛЮМИНИЕМ И МЕДЬЮ
ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ КРИОГЕННОЙ АППАРАТУРЫ (№ 10)**

Миниатюризация и повышение быстродействия электронно-вычислительной аппаратуры (увеличение тактовой частоты процессоров свыше 5 ГГц) вызывает необходимость совершенствования теплоотводящих устройств (тепловых трубок) с использованием серебряного теплоотводящего элемента, который обычно соединяют с медным или алюминиевым корпусом способом низкотемпературной пайки (рисунк).

В качестве охладителей используют воду, позволяющую отводить от тепловыделяющего элемента до 1000 Вт/см², и более эффективные низкокипящие жидкости (хлордифторметан, четырехфтористый углерод), сплавы с низкой температурой плавления (натрий, галлий) и сжиженные газы (азот).

Цель проведения исследований состояла в оценке прочностных свойств соединений серебра с медью и серебра с алюминием, паяных припоем Sn-20 мас. % Zn до и после термоциклирования в интервале температуры от -196 до +20 °С и влияния криогенных температур на микроструктуру металла паяного шва.

Испытания паяных соединений на термоциклирование выявили снижение как прочности на растяжение примерно на 14 % образцов соединений серебра с алюминием, так и прочности на растяжение до 4 % у образцов соединений серебра с медью. Отсутствие микротрещин указывает на невысокий уровень механических напряжений в зоне паяного шва, возникающих при термоциклировании, что обусловлено высокой пластичностью основного компонента припоя.

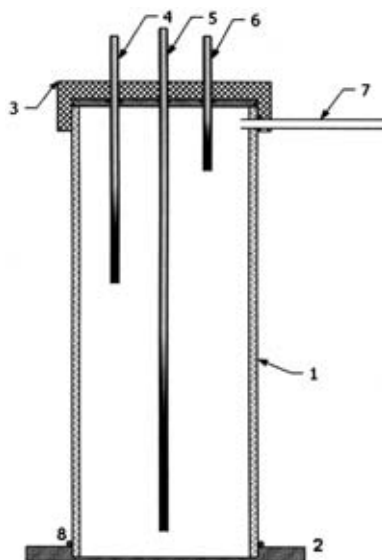


Схема конструкции испарителя для охлаждения процессора: 1 — алюминиевая трубка; 2 — теплоотводящая пластина из чистого серебра; 3 — крышка (паяная); 4 — ввод термопары; 5 — трубка подвода жидкого азота; 6 — отвод паров азота; 7 — коллектор паров азота; 8 — паяный шов



ПРОВЕРКА КАЧЕСТВА ПАЯНО-СПЕКАЕМЫХ ИЗДЕЛИЙ МЕТОДОМ АКУСТИЧЕСКОГО РЕЗОНАНСА (№ 10)

Порошковая металлургия представляет собой совокупность методов и технологических процессов, направленных на получение поликристаллических одно- или многофазных материалов и изделий из них с помощью диспергирования металлов, обработки давлением в условиях нагрева в печах с контролируемой атмосферой до температуры ниже точки плавления обрабатываемых материалов.

Для изготовления спекаемых изделий более сложной конфигурации и с требуемым уровнем прочности можно использовать метод ее расчленения на несколько более простых заготовок, изготавливаемых вместе с предварительно закладываемыми в них вставками из припоя, который расплавляется в процессе спекания заготовок, соединяя их в монолитную конструкцию. При этом паяно-спекаемое изделие обеспечивает достаточно прочное соединение заготовок при существенном снижении себестоимости его изготовления.

В качестве примера решения подобной задачи на рисунке показаны несколько отдельно компактированных заготовок со вставками из припоя, которые отмечены стрелками.

Однако при изготовлении паяно-спекаемых изделий возможно появление некоторых дефектов, например, перекос соединяемых заготовок или недостаточно глубокое проникновение припоя в соединяемые заготовки. Гарантирование высокого качества готовых изделий, выпускаемых крупными сериями или в массовом производстве можно обеспечить введением в технологический процесс достаточно дорогой операции разбраковки изделий при выявлении в них потенциальных дефектов.

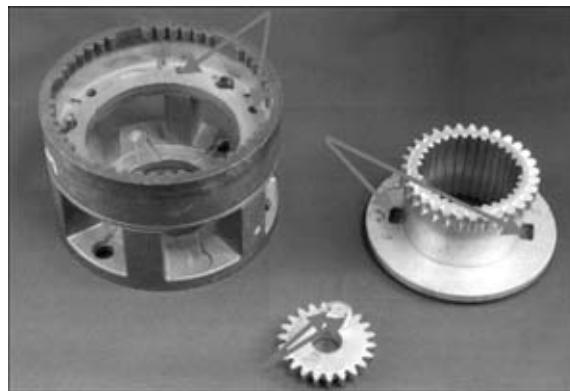
РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМ, ПРИСУЩИХ СПОСОБУ ГАЗОПЛАМЕННОЙ ПАЙКИ АЛЮМИНИЯ (№ 10)

Замена меди алюминием в конструкциях теплообменников вынуждает изготовителей изменить свое отношение к выбору способа пайки, припоя и флюса.

В отличие от пайки изделий из меди, которые можно паять самофлюсующимися припоями на основе сплавов медь-фосфор, к проблемам пайки алюминия относится необходимость поиска оптимального варианта флюса по технологическим и экономическим параметрам, необходимость выбора метода его нанесения. Усложняется процесс пайки также из-за минимальной разницы между температурой плавления основного металла и плавлением высокотемпературного припоя (обычно менее 100°). Эти проблемы усугубляются при изготовлении алюминиевых конструкций с более высокой плотностью монтажа теплообменников из трубок.

При выборе активного флюса на основе хлорида калия с многочисленными фирменными добавками, который обеспечивает качественное соединение изделий из алюминия, возникает проблема очень тщательного удаления остатков флюса во избежание возникновения электролитической коррозии в процессе эксплуатации.

Решить проблему тщательного удаления остатков активного флюса можно путем использования некорродирующего флюса, например, на основе фторидов калия и цезия, однако после пайки в местах соединения появляются белесоватые пятна с матовой поверхностью, которые затрудняют опера-



цию повторной пайки (например, при появлении дефектов паяного соединения). В качестве примера некорродирующего флюса обычно используют разработки фирмы «NOCO-LOK» для пайки алюминия припоями на основе алюминий-кремний.

Тестирование качества изготовления блока шестеренок коробки передач методом акустического резонанса показало достаточно четкую корреляцию полученных результатов этого метода с результатами разрушающих методов контроля.

Проблема нанесения на место пайки флюса и припоя, в частности, для получения кольцевых соединений, может быть решена использованием спеченных колец из смеси порошков припоя и флюса требуемой зернистости, или трубчатого припоя с порошком флюса внутри, однако исключить свойственные им «недостатки» можно с помощью припойных шайб фирмы «ChannelFlux», которые имеют внутреннюю канавку для размещения точно отмеренной порции флюса.

Относительно проблемы минимальной разницы между температурой плавления основного металла и плавления припоя можно рекомендовать припой на основе цинк-алюминий (78 % Zn + 22 % Al), который плавится в интервале температур 426...470,7 °С и соответствует интервалу активности флюса с добавками цезия.

Проведенные независимые испытания на механическую прочность и стойкость в морском тумане (в соответствии с ASTM B117) в течение 2000 ч показывают возможность успешной замены известных марок припоя сплавами на основе цинк-алюминий.

Материал подготовил
В. М. Кислицын, канд. техн. наук